E/CONF.39/A/128
17 Oct.1962
ORIGINAL : FRANCAIS

CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES
SUR L'APPLICATION DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNIQUE
DANS L'INTÉRÊT DES RÉGIONS PEU DÉVELOPPÉES

Point de l'ordre du jour : A.4.3.1

France

LES CENTRALES ELECTRIQUES

Par Roland DAVID,
Ingénieur en Chef à la Société
"Le Matériel Electrique S-W"
Paris

Les mémoires rédigés à l'intention de la Conférence des Nations Unies sur l'application de la science et de la technique dans l'intérêt des régions peu développées sont des documents de travail. Ils sont publiés tels qu'ils ont été présentés et les assertions et opinions qu'ils contiennent sont celles de leurs auteurs.

NOTES

1. Les mémoires choisis pour être présentés en séance générale pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.

2. Les mémoires choisis pour être présentés en séance spéciale pourront être obtenus à la Conférence dans l'une seulement de ces langues officielles.

3. Les résumés qui ont été rédigés pour tous les mémoires par les auteurs de ceux-ci pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.

4. Préalablement à la Conférence, les mémoires et les résumés ne feront pas l'objet d'une distribution générale mais d'un tirage restreint destiné aux délégations des gouvernements et autres participants officiels. La publication et la distribution générale des actes de la Conférence s'effectueront conformément aux règles et pratiques agréées par le Comité des publications des Nations Unies.

LES CENTRALES ELECTRIQUES

par Roland DAVID, Ingénieur en Chef

à la Société "LE MATERIEL ELECTRIQUE S-W", PARIS

1.1. Alternateurs pour centrales hydrauliques - Isolations classiques

Les alternateurs pour centrales posent, dans les pays peu développés et surtout dans les pays tropicaux, un certain nombre de problèmes relatifs à la tenue en service, si l'on veut éviter que la permanence du service assuré ne soit à la merci d'un incident, même peu important en soi, mais qui peut entraîner des conséquences graves.

Nous passerons donc assez rapidement sur les alternateurs de type classique, en distinguant cependant parmi eux ceux qui se distinguent par les dispositions spéciales des paliers et pivots. Nous signalerons particulièrement au passage ceux qui, utilisant la disposition dite "parapluie", possèdent un nombre de paliers réduit et ont de ce fait une construction simplifiée.

Nous citerons parmi beaucoup d'autres les 4 alternateurs de 45 000 kVA de Bin el Ouidane (Fig. I), les 2 d'Afourer (52 000 kVA), ceux de Limoeiro, de Macabu (Brésil), de Tjikalong (Indonésie) et, en construction parapluie, les 4 alternateurs d'El Nihuil et les 3 de Demirkopru.

1.2. Alternateurs pour centrales hydrauliques - Isolations nouvelles

Au cours des dernières années, des progrès importants ont cependant été réalisés dans le domaine des isolants. Depuis l'apparition du Thermalastic, vers 1951, un certain nombre d'isolations se sont développées qui présentent, à un degré plus ou moins grand, des caractères analogues. Les liants et produits d'imprégnation du mica utilisés dans le passé n'étaient pas exempts d'inconvénients : ou bien leur viscosité leur interdisait de pénétrer au coeur même de la gaine isolante, et l'imprégnation n'était alors pas totale, laissant subsister des vides qui étaient en service le siège de phénomènes d'ionisation destructeurs de la gaine isolante ; ou bien, comme la gomme-laque, ils se desséchaient et devenaient à la longue cassants et pulvérulents ; ou bien, au contraire, ils se ramollissaient sous l'action de l'échauffement de l'enroulement, donnant lieu à des

gonflements ou à des amaigrissements locaux, et à des migrations du mica.

L'extrême variété des résines synthétiques qui sont apparues depuis quelques années devrait permettre, et a permis effectivement, d'utiliser comme matières d'imprégnation des produits thermodurcissables ne s'altérant pas aux températures rencontrées en service. On peut utiliser par exemple des résines qui, fluides au moment de l'opération d'imprégnation, ce qui leur permet de pénétrer jusqu'au cuivre, sont ensuite polymérosées de façon à donner une masse compacte où ne subsiste aucun vide. Si de plus ces résines sont telles qu'elles ne dégagent de produits volatils, ni au cours de leur mise en oeuvre, ni en cours de fonctionnement, on peut éviter l'apparition ultérieure de gonflements et de phénomènes d'ionisation et assurer ainsi à l'isolation une longévité beaucoup plus importante.

Ces considérations prennent toute leur importance lorsqu'il s'agit d'assurer la longévité de l'isolation d'une machine exposée aux incertitudes du fonctionnement en climat tropical. L'ambiance humide favorise tous les défauts d'isolement. Or on sait que ces isolations sont totalement imperméables à l'humidité et à l'eau, au point que, non seulement on peut se dispenser du séchage préalable de la machine avant mise en service, mais que même on a pu soumettre des enroulements à une aspersion prolongée de 275 heures à raison de 25 litres/minute, et voir la résistance d'isolement recouvrer très rapidement sa valeur normale sans aucun séchage. Il s'avère que seule la résistance superficielle est altérée, mais que l'humidité ne pénètre à aucun moment dans la masse de l'isolation.

Ces qualités ont été mises à profit dans un grand nombre de machines mises en service depuis 1953, et notamment Funil (2 alternateurs de 14 500 kVA), Yaté (4 alternateurs de 14 000 kVA), Laksapana (2 de 14 700 kVA) Cameron (4 de 28 000 kVA) et Infiernillo (4 de 188 600 kVA, en cours d'étude).

2.1. Alternateurs entraînés par turbines à gaz

Nous citerons encore, parmi les alternateurs bénéficiant de ces progrès d'isolation, un certain nombre de machines entraînées par turbines à gaz. Les progrès importants obtenus dans le domaine des turbines à gaz rendent ces dernières particulièrement intéressantes dans le cas de puissances petites et moyennes ou lorsqu'on trouve sur place du combustible liquide. C'est le cas des alternateurs de 7 500 kVA à 3 000 t/mn des centrales d'Haoud el Hamra et d'In Amenas (Sahara), de ceux de 3 330 et 1 875 kVA, 1 500 et 1 800 t/mn, de Kano (Nigéria), de Puerto-Cabello (Vénézuela) et d'Iquitos (Pérou).

3.1. Groupes bulbes - Turbine hydraulique - Alternateur.

Dans un ordre d'idées différent, nous noterons les grandes possibilités offertes par les groupes bulbes à écoulement axial. Ces groupes, d'encombrement extrêmement réduit, permettent de gagner considérablement sur la hauteur des bâtiments

de la centrale, tant en infrastructure qu'en superstructure. Car d'une part la disposition horizontale économise la hauteur exigée par le canal d'évacuation de la turbine, d'autre part le fait qu'il s'agit de groupes entièrement noyés réduit pratiquement à zéro la hauteur exigée par les superstructures. Dans cette construction, le courant d'eau entoure complètement l'alternateur qu'il refroidit avant de passer dans la turbine. On remarquera la forme très tassée de l'ensemble. Il est ainsi possible de constituer avec de petits groupes des installations importantes. C'est ainsi que l'usine de la Rance, véritable prototype, non seulement des usines marémotrices de l'avenir, mais aussi de nombreuses centrales de basse chute sur les fleuves des pays tropicaux, comprend 24 groupes bulbes de 10 000 kVA, 3 500 V, 94 t/mn (fig. II). Cette solution, en fractionnant les puissances et en réduisant les dimensions, rend possible la fabrication en série des groupes dans des conditions particulièrement intéressantes et leur mise en place relativement aisée. Elle peut donc faciliter le montage des grands ensembles dans les pays tropicaux.

3.2. Groupes bulbes - Excitation par redresseurs

Un point délicat, avec la construction habituelle des excitatrices, est l'accès aux bagues de l'alternateur. Une solution particulièrement séduisante est d'exciter l'alternateur par un petit alternateur d'excitation à induit tournant avec un pont de redresseurs, tournants eux aussi, calés sur l'arbre. On obtient ainsi une excitation sans collecteur ni bagues, ni balais, et sans aucune connexion à l'extérieur, qui est parfaitement adaptée à l'emploi des groupes immergés.

4.1. Alternateurs entraînés par turbines à vapeur

Dans les centrales thermiques, la situation est bien différente. Les nombreux alternateurs de 10 000, 20 000, 33 000 kW et jusqu'à 250 000 kW, qui ont été fournis dans ces dernières années, marquent une tendance très nette vers les puissances de plus en plus élevées.

Nous citerons entre autres les 2 turbo-alternateurs de Paz del Rio, ceux de Lorenzo, les 4 turbo-alternateurs de Téhéran, dont la puissance est comprise entre 10 000 et 15 000 kW, les turbo-alternateurs des Roches-Noires (Maroc) (Fig. III), de la Havane, de Nava, de puissances comprises entre 20 000 et 37 500 kW, de Ptolemaïs (125 000 kW) et enfin les 3 turbo-alternateurs de Sulcis (Sardaigne) dont la puissance atteint 250 000 kW.

Il convient de signaler les possibilités offertes par les turbo-alternateurs, maintenant en fait standard dans le monde, de 250 MW à refroidissement direct des conducteurs par l'hydrogène, qui, s'ils sont encore peu utilisés dans les pays peu développés, ne tarderont sans doute guère à s'y répandre. Ces alternateurs ne sont pas sensiblement plus gros que les alternateurs classiques de 125 MW et leurs pertes à vide sont sensiblement équivalentes. C'est dire qu'à faible charge, leur rendement n'est pas inférieur à celui des alternateurs de 125 MW

tout au moins avec des pressions d'hydrogène réduites. Alimentés en hydrogène à pression plus élevée, ils peuvent fournir leur puissance nominale de 250 kW avec un rendement qui reste excellent. Ce résultat est obtenu, faut-il le rappeler, par la circulation interne d'hydrogène à l'intérieur même des conducteurs du stator. Car on s'est aperçu que la puissance des machines de construction classique était limitée par la chute de température dans la gaine isolante. La chaleur due aux pertes, pour s'évacuer du cuivre vers le fer, doit en effet traverser une isolation d'épaisseur croissante au fur et à mesure qu'augmente la tension des machines.

La solution consiste donc à faire passer le courant du fluide de refroidissement à l'intérieur même des conducteurs et d'éviter ainsi l'obstacle à la transmission de chaleur que constitue la gaine isolante. On réalise ainsi des canaux, soit à l'intérieur même de chaque conducteur élémentaire (fig. IVa), soit entre les piles de conducteurs élémentaires (fig. IVb) au même potentiel qui constituent les barres des grands turbo-alternateurs. La fig. V est une coupe, et la fig. VI une vue d'une machine de ce type. Le nouvel échelon de puissance de 250 MW a été réalisé déjà en de nombreux exemplaires dans beaucoup de pays du monde, et tend à devenir standard. Ne recourant qu'à l'hydrogène pour son refroidissement, il évite par là-même les sujétions auxquelles risquerait de se heurter l'emploi d'un autre fluide. Nul doute qu'au cours des années qui viennent, ce modèle ne devienne l'objet d'un important développement.

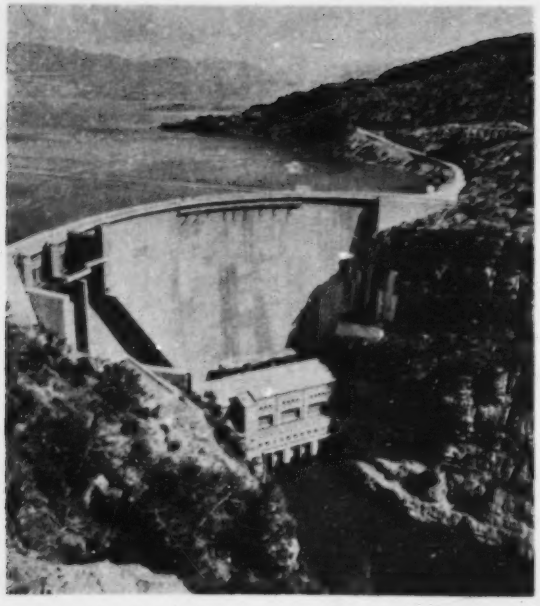


Fig.I Centrale de Bin el Ouidane
(Maroc) - Vue générale

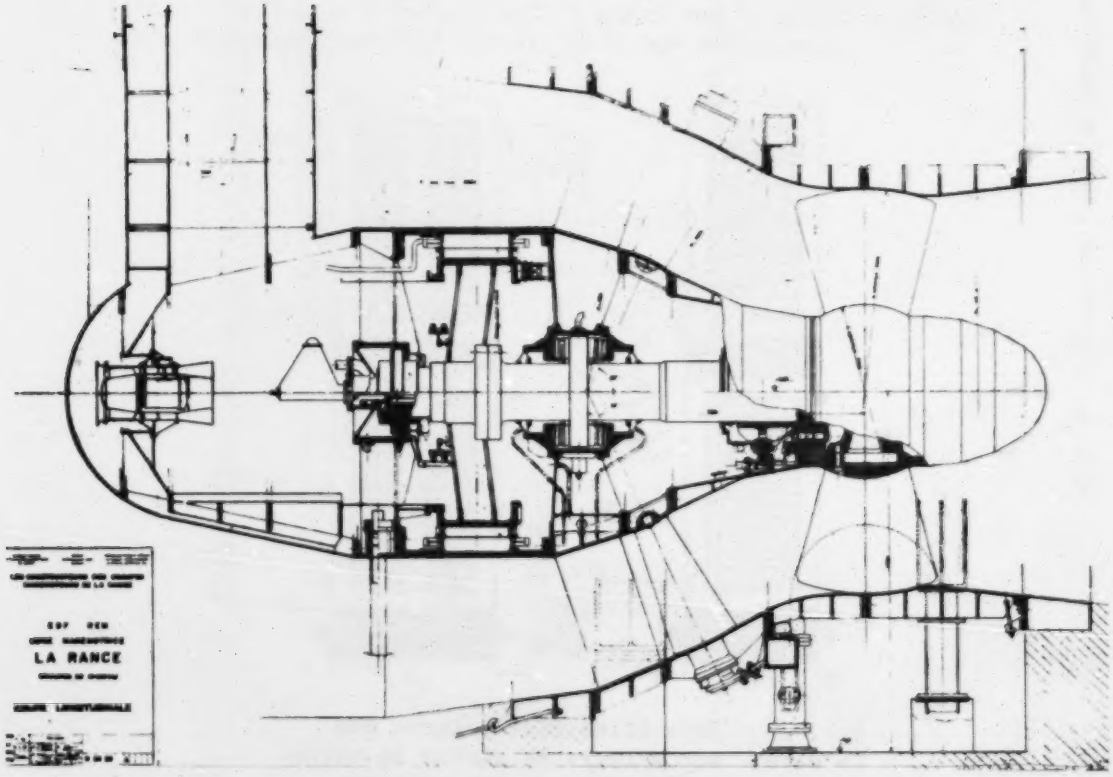


Fig.II - Centrale de la Rance - Coupe d'un groupe bulbe
(Constructeurs Français)

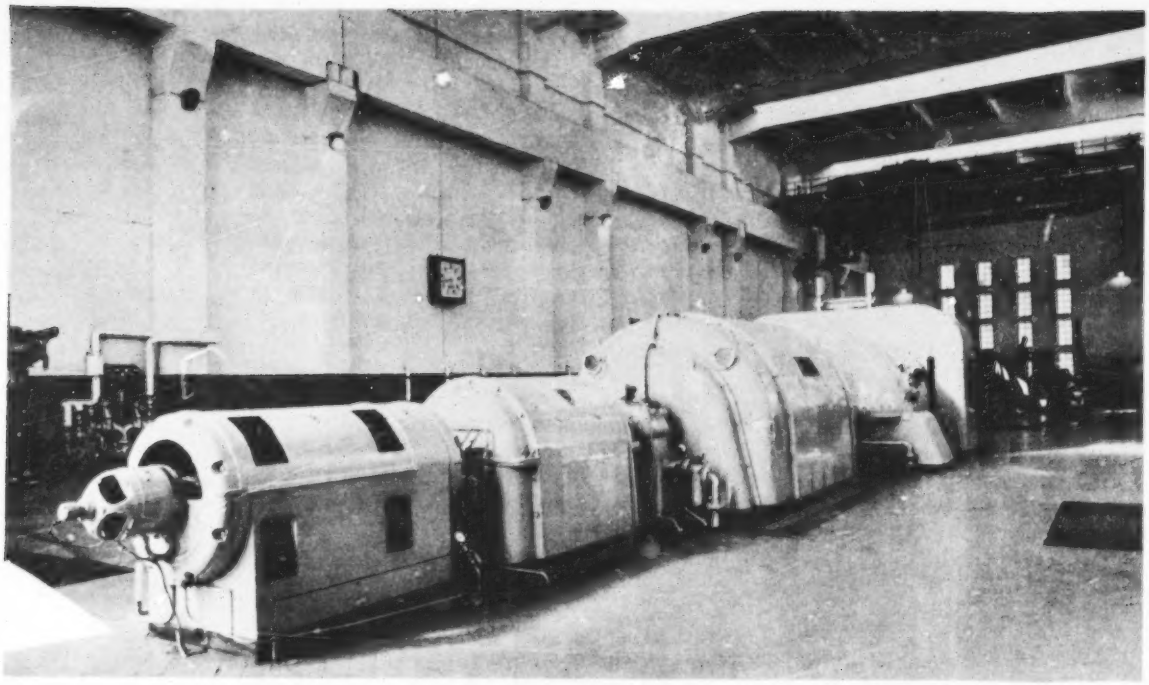


Fig.III - Centrale des Roches Noires (Maroc) - 2 turbo-alternateurs de 20 000 kW (Le Matériel Electrique S.W)

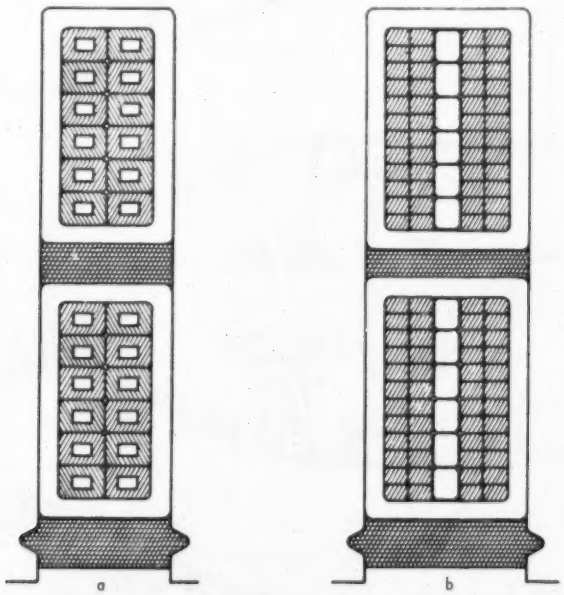
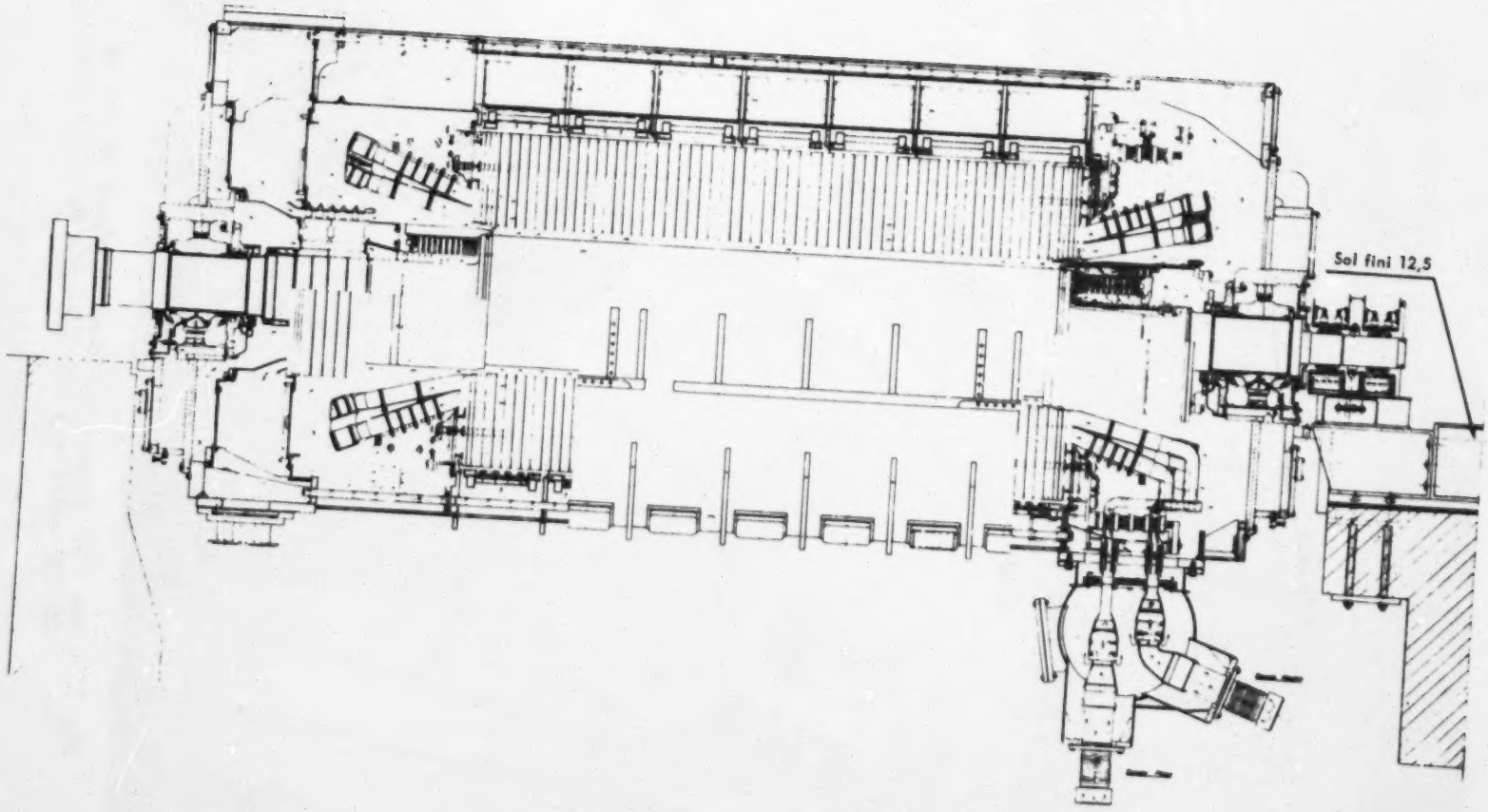


Fig. IV (a et b) Refroidissement interne des conducteurs de stator de turbo-alternateurs. Vue en coupe transversale



Fiv. V - Coupe de turbo-alternateur de 250 MW - 20 000 volts
3 000 t/mn.

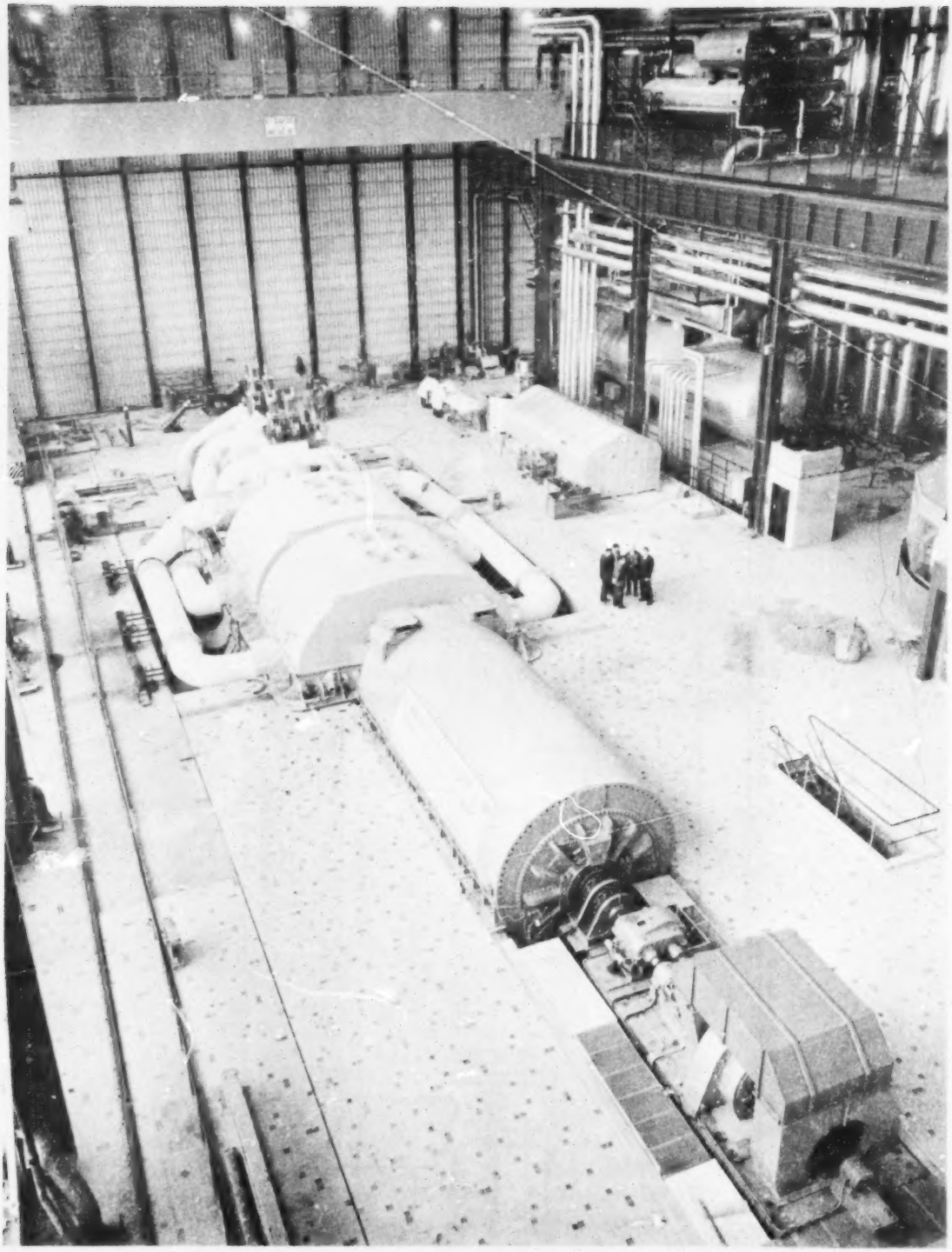


Fig.VI - Vue d'un groupe turbo-alternateur de 250 MW -
20 000 volts - 3 000 t/mn (Le Matériel Electrique S-W)

1097 F - Oct.1962 - 1,000